



UNIVERSITATEA „POLITEHNICĂ” din BUCUREȘTI

**ȘCOALA DOCTORALĂ din cadrul
Facultății de Inginerie Industrială și Robotică
Departamentul Roboți și Sisteme de Producție**

TEZĂ DE DOCTORAT

**METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI
INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA
DE MENTENANȚĂ**

REZUMAT

Autor: doctorand: **HAGIESCU V. CORNELIU**
Conducător de doctorat: Prof.dr.ing. **VELICU ȘTEFAN**

BUCUREȘTI
2023

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ

Universitatea POLITEHNICA din București
Facultatea INGINERIE INDUSTRIALĂ ȘI ROBOTICĂ
Departamentul ROBOȚI ȘI SISTEME DE PRODUCȚIE

Cuprins

	T	R
ABSTRACT	pag. 3	4
INTRODUCERE	pag. 4	5
CAP.1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND MENTENANȚA SISTEMELOR TEHNOLOGICE	pag. 6	8
1.1. Evoluția mentenanței.....	pag. 8	9
1.2. Formularea obiectivelor tezei.....	pag. 15	10
1.3. Concluzii.....	pag. 16	10
CAP. 2 STRATEGII DE MENTENANȚĂ PREVENTIVĂ	pag. 17	11
2.1. Metode de mentenanță	pag. 17	11
2.2. Monitorizarea – factor decizional în activitatea de mentenanță.....	pag. 18	12
2.3. Alcătuirea sistemului de monitorizare.....	pag. 20	
2.4. Componentele sistemului de monitorizare.....	pag. 21	12
2.5. Aplicații ale sistemului de monitorizare.....	pag. 22	
2.6. Concluzii.....	pag. 24	13
CAP. 3. CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND MONITORIZAREA STRUCTURILOR CRITICE CU AJUTORUL TRADUCTORILOR AUTONOMI	pag. 25	13
3.1 Modelarea virtuală a funcționării unui modul autonom energetic	pag. 25	14
3.2 Concluzii.....	pag. 27	14
CAP. 4. CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE PRIVIND MONITORIZAREA STRUCTURILOR CRITICE CU AJUTORUL TRADUCTORILOR AUTONOMI	pag.28	14
4.1. Senzori piezoelectrice flexibili, prezentare, mod de instalare.....	pag.29	16
4.2. Configurație experimentală.....	pag.33	17
4.3 Descrierea componentelor	pag.34	17
4.4 Măsurarea parametrilor energetici în laborator.....	pag.40	18
4.5 Măsurarea parametrilor energetici în situ.....	pag.40	19
4.5.1 Efectuarea măsurătorilor.....	pag.40	19
4.5.2 Calculul amplitudinii maxime ale impulsului de tensiune (Um).....	pag.45	19
4.5.3 Calculul numărului de impulsuri la bornele senzorului timp de 24 ore....	pag.47	20
4.5.4 Calculul perioadei impulsurilor.....	pag.49	20
4.5.4.1 Prelucrarea grafică a oscilogramelor.....	pag.50	21
4.5.4.2 Vectorizarea formelor de undă.....	pag.51	

**METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA
DE MENTENANȚĂ**

4.5.4.3 Prelucrarea formelor de undă vectorizate.....	pag.53
4.5.4.4 Prelucrarea grafică a formelor de undă.....	pag.55
4.5.5 Calculul puterii impulsului.....	pag.58 21
4.6 Concluzii.....	pag.62 22
CAP.5 CONTRIBUȚII PRIVIND CONCEPEREA UNUI ECHIPAMENT PENTRU MENTENANȚA STRATULUI DE UZURĂ FOLOSIND PROCEDEUL TEHNOLOGIC DE INJECTARE(TORCRETARE) ..	pag.64 22
5.1. Mentenanța corectivă a căilor rutiere	pag.65 23
5.2. Descrierea tehnologiei de reparare a stratului de uzură din calea de rulare prin torcretare	pag.66
5.2.1. Proiectarea unui echipament pentru remedierea defectelor din calea de Rulare prin colmatare, folosind procedeul de torcretare.....	pag.68 24
5.2.2. Conceperea unui echipament experimental.....	pag.70 25
5.3. Cercetări de laborator privind implementarea noului procedeu de reparare a stratului de uzură	pag.70
5.4. Rezultatele experimentale și interpretarea datelor	pag.72 25
5.5. Concluzii.....	pag.75 26
CAP. 6 CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	pag.76 26
6.1. Concluzii generale.....	pag.76 26
6.2. Contribuții personale.....	pag.79 28
6.3. Direcții ulterioare de cercetare.....	pag.82 29
6.4. Valorificarea rezultatelor cercetării.....	pag.83 30
BIBLIOGRAFIE.....	pag.85 31
ANEXE	pag.91
A1 LISTĂ ABREVIERI.....	pag.92
A2 LISTĂ DE TABELE.....	pag.93
A3 LISTĂ FIGURI.....	pag.94
A4 CURICULUMM VITAE.....	pag.99
SPECIFICAȚII TEHNICE ECHIPAMENTE LABORATOR.....	pag.100

T- teza

R- rezumat

ABSTRACT

Această teză de doctorat are ca scop, cercetarea și realizarea unor concepte inovative cu aplicare în mentenanța drumurilor, necesare a fi abordate în activitatea mea profesională.

Realizarea unor concepte și metode noi în domeniul infrastructurii rutiere, vor permite menținerea siguranței în trafic, anticiparea costurilor cu menținerea în parametri optimi de funcționare a infrastructurii și în nu în ultimul rând, o legătură prietenoasă cu mediul.

Specificul activității m-a ajutat conturez următoarele obiective principale de urmat:

- a) studierea și demonstrarea posibilității autonomizării unui echipament de monitorizare inteligentă a traficului rutier;
- b) cercetarea unui nou procedeu de mentenanță corectivă a stratului de uzură al căii de rulare.

Aceste obiective sunt interdependente cu obiectivele specifice care urmăresc: analizarea senzorilor piezoelectrice, cercetarea în domeniul monitorizării căii de rulare, analizarea cantității de energie generată de senzorii de stare montați în calea de rulare, analizarea unor metode noi pentru repararea stratului de uzură, cercetări privind folosirea unei tehnologii inovative de reparație a stratului de uzură folosind procedeul de injectare, echivalentul metodei de torcretare din cadrul industriei de construcții civile și industriale.

Lucrările de cercetare realizate pentru lucrarea de doctorat au condus la realizarea unui concept nou, o tehnologie inovativă pentru reparația stratului de uzură și rezultate foarte bune privind posibilitatea folosirea energiei produse de senzorii folosiți la gestionarea informațiilor asupra traficului auto, realizând sisteme autonome energetic, prietenoase cu mediul.

Cuvinte cheie sistem virtual, echipament autonom, procedeu de torcretare, injectare.

INTRODUCERE

Urmare complexității sistemelor tehnologice, menținerea lor în stare de funcționare reprezintă azi o activitate complexă, specializată, cu personal bine pregătit, cu expertiză în multe domenii, care au ca obiectiv menținere la parametrii proiectați de funcționare a echipamentelor ce compun lanțurile de producție. Urmare complexității sistemelor tehnologice, în prezent managerul de mentenanță trebuie ținut cont de resursa de personal, de pregătirea continuă, de angajamentul acestuia, responsabilitatea lui, implicare în gestionarea și dezvoltarea complexului de informații primite de la sistemul tehnologic, pentru a avea cât mai puține întreruperi în funcționare.

Cercetările experimentale din această lucrare au ca punct de plecare o varietate de metode dezvoltate în prezent pe plan intern și internațional, care urmăresc în principal calea de rulare a drumurilor, comportarea ei prin prisma caracteristicilor tehnice a materialelor folosite, a tehnologiei de prelucrare, a costurilor cu întreținerea, fiabilitatea, influența asupra mediului.

Prezenta Teză de doctorat este structurată în șase capitole, introducere, anexe și bibliografie.

Capitolul 1, denumit "*Stadiul actual al cercetărilor privind mentenanța sistemelor tehnologice*" evidențiază metodele și echipamente specifice, folosite în domeniul mentenanței. Prin mentenanță se pot menține eficient în funcționare sisteme tehnologice, totodată putem obține informații care vor contribui la întocmirea unor planuri pentru intervențiile viitoare.

Astfel, în prezent se pune un mare accent pe implementarea senzorilor în zonele critice ale sistemelor tehnologice, folosirea intensivă a internetului, a tehnologiilor hardware pentru măsurarea și comunicarea informațiilor primite și software pentru prelucrarea acestora, în stabilirea unei decizii în mentenanță.

Analizarea compunerii unui sistem tehnic de monitorizare a stării echipamentelor pentru a alocă o anumită mentenanță este prezentat în Capitolul 2 "*Strategii de mentenanță preventivă*". Sistemul de monitorizare permite o analiză complexă a stării de funcționare, iar operațiile tehnice necesare de intervenție se vor face ca urmare a unei decizii corecte, care ia în calcul starea reală, timpul necesar de intervenție care înseamnă oprirea echipamentului și afectarea zonală a transportului.

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ

În capitolul 3 "*Conceperea unui modul autonom pentru monitorizarea evoluției sistemului*" se analizează evoluția unui sistem tehnic, care gestionează modificarea în timp a parametrilor analizați. Se are în vedere utilizarea unui proces fizic de generare de energie care poate fi folosit eficient în cadrul diverselor echipamente de măsurare a forței, traficului etc. Echipamentul astfel dezvoltat, poate fi implementat în calea de rulare, iar energia dezvoltată va reprezenta o sursă de energie verde, care nu afectează mediul.

Capitolul 4 intitulat "*Contribuții experimentale privind monitorizarea structurii critice cu ajutorul traductorilor autonomi*" prezintă etapele unui studiu experimental laborios, care urmărește să determine și să evidențieze o cale de autonomizare din punct de vedere electric a unui sistem existent de determinare a vitezei, greutatei pentru clasificarea autovehiculelor și a traficului, care utilizează unul sau mai mulți senzori piezoelectrice flexibili, maximizând funcționalitatea sistemului, prin folosirea energiei produse de aceștia, asigurând o autonomie electrică proprie.

În capitolul 5 intitulat "*Contribuții privind conceperea unui echipament pentru mentenanța stratului de uzură folosind procedeul tehnologic de injectare (torcretare)*" sunt evidențiate pașii parcurși pentru realizarea unui concept și a unui echipament inovativ de mentenanță a căii de rulare, în cazul transportului terestru auto. Realizarea conceptului inovativ personalizează o metodă folosită des în industria construcțiilor civile și industriale, la care se dă o extindere în domeniul mentenanței căilor de rulare, din sfera transportului terestru auto.

Capitolul 6 "*Concluzii finale și contribuții personale*" trece în revistă contribuțiile personale realizate în cadrul studiilor experimentale, avantajele folosirii acestor tehnici inovative și căile de dezvoltare viitoare.

Bibliografia acestei teze cuprinde un număr de 185 de lucrări tehnice și științifice, 7 articole științifice publicate și în curs de publicare, 25 link-uri pentru pagini web, care au fost accesate în perioada 2016- 2022 și anexe cu documente tehnice.



Pe această cale vreau să mulțumesc persoanelor care au fost alături de mine, m-au încurajat și m-au susținut permanent pe toată perioada realizării acestei lucrări științifice.

La realizarea/îndrumarea acestei lucrări, o contribuție deosebită a avut domnul Prof. univ. dr. ing. Ștefan Velicu, om de o deosebită valoare științifică, care m-a îndrumat permanent, m-a încurajat, mi-a oferit multe idei tehnice călăuzitoare, necesare pentru realizarea unui

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ

concept științific nou, românesc, care a fost experimentat/realizat într-un cadru instituțional deosebit, al unei instituții de prestigiu, cum este Universitatea Politehnica București, centru de învățământ de o deosebită importanță pentru această țară. Totodată, doresc să fiu recunoscător pentru sprijinul științific acordat, prin punerea la dispoziție a laboratoarelor de cercetare, a spețelor tehnice întâlnite în activitatea didactică și de laborator și prezentate pentru o documentare tehnică eficientă, domnilor: prof.univ. dr. ing. Tănase Ion, conf. univ. dr. ing. Bâșu Claudiu, prof. univ. dr. ing. Dogariu Constantin.

Mulțumesc colegilor și colectivelor tehnice, domnului Director Ștefan Ioniță, pentru fructuoase schimburi de idei, punerea la dispoziție în cadrul laboratorului CESTRIN, a unui spațiu pentru experimentările științifice, tuturor celor care au crezut în mine și care au avut bunăvoința de a analiza lucrarea și de a-mi comunica observațiile lor. Mulțumesc de asemenea, bunului meu prieten, veșnic tânăr pensionar, Ionel Păunescu, pentru încurajarea permanentă, înțelegerea și sprijinului permanent la realizarea acestei lucrări. Mulțumesc conducerii facultății, departamentului Școală Doctorală, pentru sprijinul și încurajarea pe toată perioada pregătirii lucrării.

Nu în ultimul rând, aduc un omagiu familiei pentru menținerea unui cadru deosebit pe parcursul realizării acestei teze.

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND MENTENANȚA SISTEMELOR TEHNOLOGICE

Dezvoltarea atât a infrastructurii software cât și hardware, determinată de strategii conceptuale naționale apărute la nivel global, ce poartă numele de „Industrie 4.0” în Germania, „Industrial Internet Consortium” (IIC) în SUA, „Industrial Value-Chain Initiative” (IVI) în Japonia, „Industrie du Futur” în Franța și nu în ultimul rând Revoluția Industrială în China, au dus la apariția a ceea ce a fost denumită „a patra revoluție industrială”. Aceste strategii integrează procesele industriale în primul rând cu tot ce înseamnă azi Internetul lucrurilor (IoT), internetul, rețelele cu sau fără fir, tehnologiile hardware și software.

Rezultatul a fost o explozie de aplicații privind mentenanța predictivă a sistemelor tehnologice în domenii ca autodiagnoza echipamentelor industriale, proceduri de autoconfigurare a lor și a lanțurilor de fabricație, aprovizionare și mentenanță, realitatea virtuală și realitatea augmentată, toate acestea bazate pe dezvoltarea senzoricității și a algoritmilor software de interpretare a datelor acumulate, creșterea puterii (vitezei) de calcul și de transmitere a datelor, a capacităților de stocare a acestora. Internetul lucrurilor (Internet of Things - IoT), are o aplicare directă în industria manufacturării, la echipamentele dotate cu senzori, oferind posibilitatea de transmitere și prelucrare a datelor, folosind echipamente hardware și aplicații software, oferind posibilitatea de procesare a datelor și de comunicare cu alte echipamente din lanțul de producție folosind internetul sau orice alt tip de rețea de comunicații. Astfel, dl. V. Deac și alții. citează în [1], patru direcții de evoluție a mentenanței predictive, privind refacerea parametrilor de funcționare ai unui echipament industrial, anticiparea stării de funcționare a acestuia, minimizarea cheltuielilor cu mentenanță și prevenirea apariției stării de defect, prevenire care implică utilizarea de noi tehnologii și proceduri care determină luarea de măsuri așa cum se arată în fig.1.1. [2]

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ

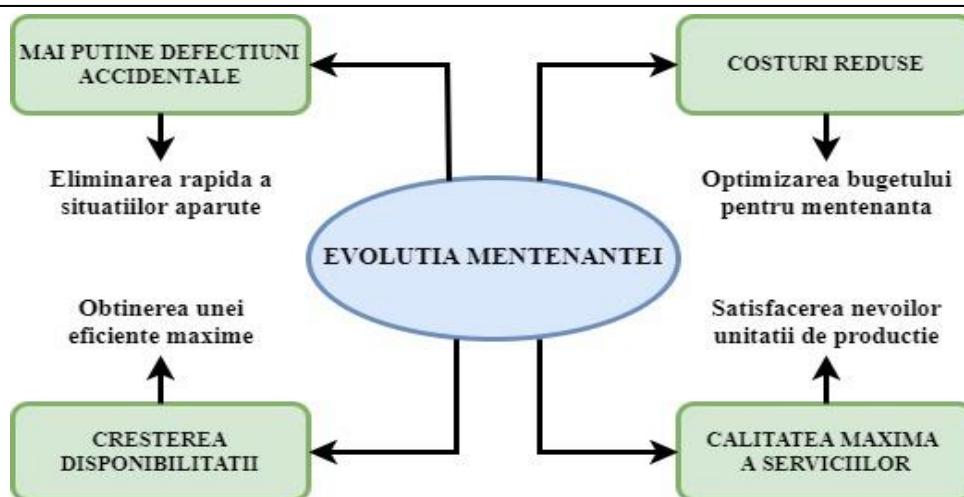


Fig.1.1. Evoluția mentenanței

1.1. Evoluția mentenanței

J.Bufferne definește cinci obiective care pot aduce un grad crescut de îmbunătățire a mentenanței și anume: zero defecțiuni, zero greșeli, zero stocuri, zero întârzieri și zero hârtii [3]. Dacă obiectivul zero defecțiuni este legat de activitatea propriu-zisă de mentenanță, obiectivul zero greșeli implică în primul rând managementul calitativ și mentenanță alături de el. Obiectivul zero stocuri are în vedere reducerea stocurilor intermediare, dar cu o fiabilitate mare a echipamentelor [4]. Zero întârzieri se referă la reducerea timpului de intervenție în situații de blocaj și obiectivul zero hârtii se referă la informatizarea acestei activități.

Un salt tehnologic foarte important a fost făcut atunci când s-a reușit construirea unui element mecanic în interiorul unui circuit integrat. Inginerii tehnologi din domeniul fabricării semiconductorilor, apelând la tehnologia fotolitografică și de gravură a plăcuței de siliciu au reușit să introducă atât elementul mecanic (de exemplu tip grindă) cât și joncțiunile care compun partea de prelucrare a semnalului rezultat de la elementul mecanic, într-un singur circuit integrat de tip C-mos. Astfel au apărut MEMS-urile (Microelectromechanical systems fig.1.4), având dimensiuni de până într-un milimetru și consumuri de energie de ordinul maxim al microamperilor. Caracteristicile excepționale de dimensiuni și de consum energetic, au dus evoluția acestor componente electronice către nanosenzori care și-au găsit multiple aplicații în domeniul industrial, al sănătății, mediului etc. [6].

1.2. Formularea obiectivele tezei

Teza de doctorat este strâns legată de domeniul de activitate profesională. Cunoscându-l, putem spune că **obiectivele principale** ale tezei de doctorat sunt legate de zona/domeniul mentenanței, cu aplicare în mentenanța drumurilor:

- studierea și demonstrarea posibilității autonomizării unui echipament de monitorizare inteligentă a traficului rutier;
- cercetarea unui nou procedeu de mentenanță corectivă a stratului de uzură al căii de rulare.

Acestea vor fi atinse prin următoarele **obiective specifice**:

- analiza senzorilor piezoelectrice în vederea autonomizării;
- conceperea unui modul autonom pentru monitorizarea evoluției sistemului;
- configurarea experimentală și măsurări in situ;
- calculul energiei furnizate de senzorul piezoelectric prin vectorizarea oscilogramelor;
- demonstrarea ipotezei de autonomizare a unui echipament de monitorizare a evoluției sistemului;

Autonomizarea energetică a unui astfel de echipament permite instalarea lui în cel mai convenabil punct de măsurare a datelor. Funcționând și pe baza energiei produse de senzori, aplicația poate fi folosită în orice domeniu unde este necesară monitorizarea unor mărimi fizice (temperatură, vibrații, deplasări etc.), în vederea eficientizării activității de mentenanță.

Cel de-al doilea obiectiv, referitor la cercetarea unui procedeu nou de reparare a stratului de uzură al căii de rulare. Procedeu studiat este folosit des în domeniul construcțiilor civile și anume torcretarea betonului (la reparația suprafețelor exterioare a clădirilor care necesită consolidare etc.)

1.3 Concluzii

Linear Technology (Analog Devices) produce, în aceeași familie de circuite integrate, în gama de consum ultra scăzut de energie (Ultralow Consumption) și celelalte elemente componente ale modului senzorial wireless, cum sunt Elementul de Procesare a Datelor (Processing Element), de exemplu: „Ultra Low Power ARM Cortex-M4F MCU with Integrated Power Management” și Elementul de Comunicatie Wireless (Communication Element), de exemplu ADF7901 „High Performance ISM Band OOK/FSK Transmitter IC”.

De asemenea, produce și o gamă variată de senzori (Sensing Element), cum este ADXL359 „Low Noise, Low Drift, Low Power 3-Axis MEMS Accelerometer”[179].

Informațiile primite de la acești senzori privesc, în general, piesele realizate și interconectarea echipamentului cu alte echipamente din jur, în lanțul de fabricație, pentru eficientizarea activității, fiind necesară o evaluare cât mai justă a soluțiilor alese și studierea în timp a rezultatelor obținute, avându-se în vedere optimizarea maxima a numărului de puncte de măsurare.

CAPITOLUL 2

STRATEGII DE MENTENANȚĂ PREVENTIVĂ

Strategia de mentenanță preventivă reprezintă totalitatea obiectivelor importante pentru o perioadă lungă de timp, cele mai eficiente modalități de realizare și resursele materiale și umane alocate. Acesta reprezintă fundamentul

2.1. Metode de mentenanță

Analizarea la intervale de timp bine stabilite tehnic a posibilităților de funcționare a unui sistem tehnic, are o importanță deosebită, reprezentând un factor de decizie pentru operațiile necesare în vederea păstrării disponibilității maxime.

În cazul mentenanței preventive trebuie evidențiate doua modele folosite pentru analizarea preventivă a sistemului tehnic, respectiv:

- primul are la bază strategia de reînnoire preventivă ERP (Eventual Replacement Policy), care are în vedere ca la intervale egale de timp (stabilite prin strategie) sistemul tehnic să fie supus unor verificări, iar în urma constatării unui grad de uzură, să fie realizate lucrări de întreținere;
- al doilea, bazată pe analiza stării acestuia prin monitorizarea unor parametri definiți.

În figura 2.1. se prezintă clasificarea mentenanței, pe baza de criterii și intervenții tehnice.

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ

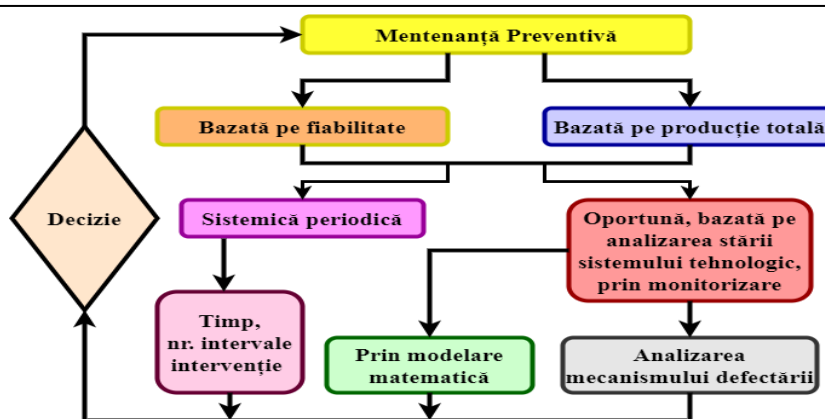


Fig.2.1. Mentenanță preventivă, analiză și criterii

2.2. Monitorizarea - factor decizional în activitatea de mentenanță

În activitatea de mentenanță rolul decisiv revine monitorizării sistemului tehnic. Monitorizarea se realizează permanent, sau la intervale de timp, funcție de complexitatea sistemului tehnic. Prin monitorizare, sunt preluate informații care sunt folosite pentru a determina intervalul maxim între lucrările de reparații și întreținere, ca parte a ținerii sub control a costurilor întreruperilor în funcționarea sistemului tehnic, urmare a eventualelor defecțiuni.

2.4. Componentele sistemului de monitorizare

Componentele sistemului de monitorizare trebuie să asigure minim următoarele cerințe:

- de măsurare;
- de supraveghere optică/acustică/termică etc.;
- de dirijare, blocare, comutare;
- de comunicare în sistem fix și mobil.

Componenta de bază are în structură toate funcțiile și interfețele necesare gestionării sistemului tehnic, având montaj direct fără utilizare de relee intermediare de comandă, cu posibilității de lucru independent și activare de la distanță (calculator/laptop/telefon mobil etc.) cu aplicație specializată[12]. Cealaltă componenta conține unitatea de afișare și operare, prin care specialistul de mentenanță poate accesa rapid funcțiile de date ale echipamentului, parametrizarea elementelor de siguranță și comanda electrică (fig.2.4).

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ

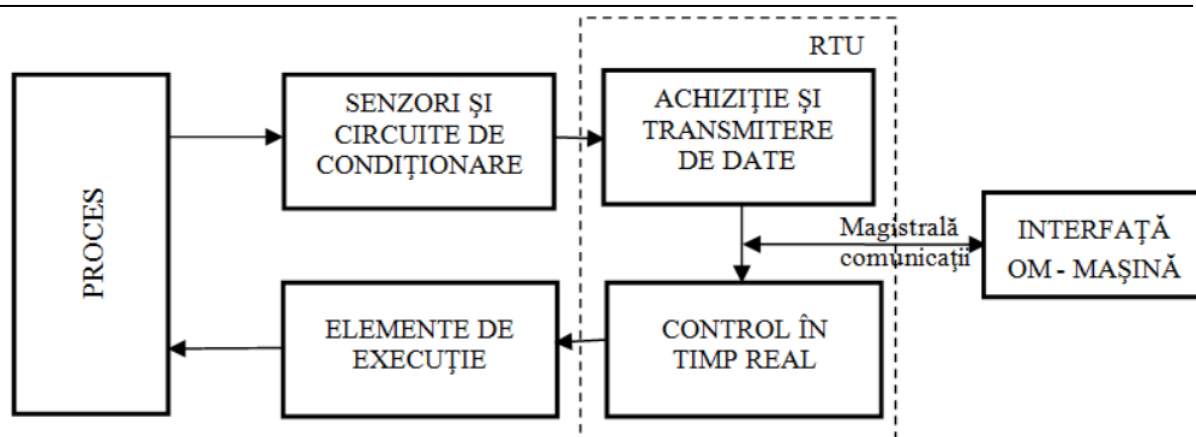


Fig. 2.4. Componenta minimală a unui sistem de monitorizare

2.6. Concluzii

Folosirea sistemelor de monitorizare a mentenanței necesită schimbări semnificative în sistemele informatice, preluarea și folosirea unor programe speciale, tehnică avansată care să facă față noilor tehnologii, pentru a face posibilă o mai bună înțelegere a performanțelor și folosirii lor, pentru a diminua costurile de producție, cu impact minimal asupra mediului și ființei umane.

CAPITOLUL 3

CONCEPEREA UNUI MODUL AUTONOM ENERGETIC PENTRU MONITORIZAREA EVOLUȚIEI SISTEMULUI

În prezent, datorită prețului energiei electrice în creștere, se caută soluții pentru generarea sau cogenerarea energiei electrice din surse alternative/ energie regenerabilă. Se observă că sunt utilizate o serie de sisteme care dezvoltă energie când sunt acționate de o forță exterioară. Aici putem evidenția efectele care se produc la unele cristale, respectiv apariția unei polarizări electrice. Acest fenomen este intens studiat, deoarece prin aplicarea asupra cristalelor respective a unor forțe sau inducerea unei variații de temperatură, în ele apar o diferență de potențial, generatoare de curent electric (efect piezoelectric, fig. 3.1).

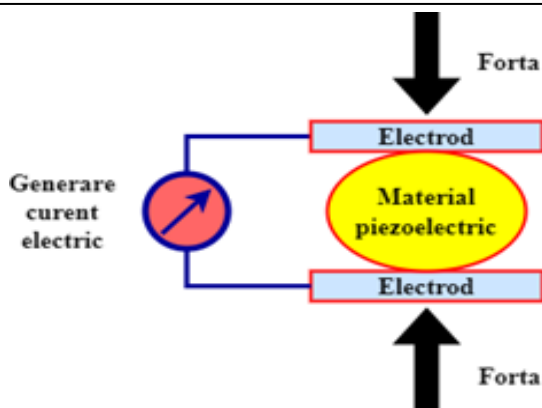


Fig. 3.1. Generare curent electric prin aplicare forțe

3.1. Modelarea virtuală a funcționării unui modul autonom energetic

Documentația tehnică studiată, evidențiază posibilitatea folosirii unor sisteme independente alcătuite din captoare piezoelectrice cu funcționalitate dublă, de măsurare și de producere energie.

Astfel, se poate folosi în cazul unui sistem de măsurare al încărcării autovehiculelor pe osie amplasând pe o anumită zonă din calea de rulare senzori piezoelectrice, care pe lângă măsurarea încărcăturii vor produce energie, astfel sistemul își poate genera o parte din necesarul de curent electric (fig. 3.2).

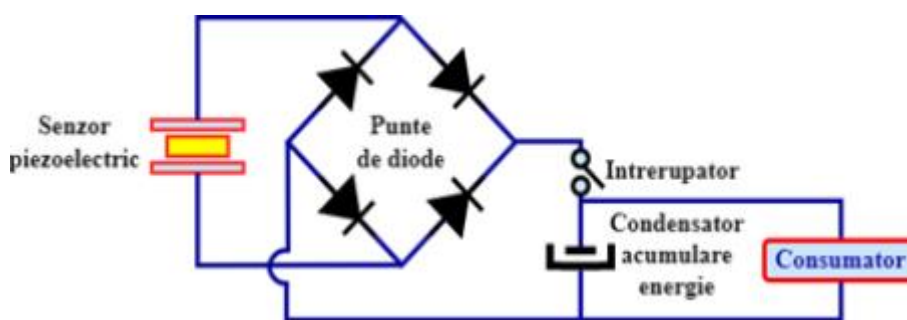
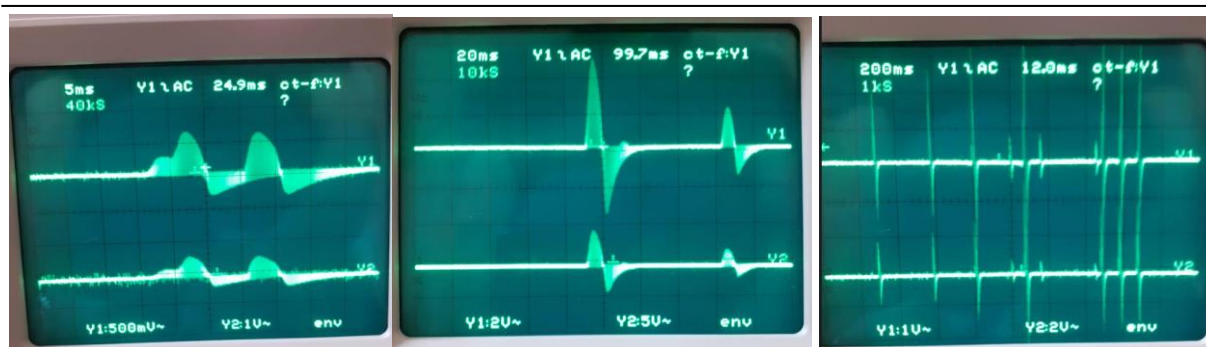


Fig. 3.2. Sistem de acumulare energie

Analizând dacă cascada de senzori care sunt montați în calea de rulare au relevanță când legăturile sunt serie sau paralel, măsurând curentul și tensiunea cu ajutorul unui osciloscop, a rezultat o generare de curent mai mare la legătura în paralel, figura 3.4 și figura 3.5.

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ



a)

b)

c)

Fig.3.3. Înregistrare tensiune la trecere a-autoturism, b-camion, c-tir

3.2. Concluzii

A fost realizat un modul experimental folosind un sistem de citire a greutății pe osie care are potențialul să genereze energie. Am constatat, în urma măsurătorilor, că între greutatea aplicată asupra senzorului și energia generată există o relație liniară. Energia obținută poate fi acumulată și poate realiza eficient autonomia sistemului de comandă.

CAPITOLUL 4

CONTRIBUȚII EXPERIMENTALE PRIVIND MONITORIZAREA STRUCTURILOR CRITICE CU AJUTORUL TRADUCTORILOR AUTONOMI

Informațiile obținute și transmise în timp real, referitoare la trafic (atât pe autostrăzi cât și pe drumurile naționale au o mare importanță, din două motive foarte importante.

Primul este mentenanță drumurilor. Cunoscând numărul de autovehicule, greutatea pe axa a fiecăruia și numărul de axe ale acestora, se poate estima gradul de uzură într-o perioadă de timp al căii de rulare. Verificarea ulterioară a acestuia poate decide asupra oportunității efectuării unor lucrări de mentenanță a căii de rulare. Cel de-al doilea motiv este legat de implementarea platformei europene ITS – Intelligent Transport System (EIP) [160]. Datele de trafic obținute din măsurători, (clasificare a traficului, măsurarea vitezei autovehiculelor, cântărire-în-mișcare - “weight-in-motion”) și transmise în timp real sunt o componentă a platformei europene ITS.

4.1. Senzorii piezoelectrice flexibili, prezentare, mod de instalare

Senzorii piezoelectrice flexibili sunt elemente de circuit, folosite de mai mulți ani pentru măsurătorile legate de traficul auto. De exemplu, senzorii “RoadTrax BL Traffic Sensor”, produși de Measurement Specialities, sunt folosiți pe scară largă pentru măsurătorile de trafic, având, în diferite configurații o precizie de până la 98% [4]. Producătorul senzorului Roadtrax BL recomandă pentru obținerea unei precizii maxime a măsurătorii, o configurație senzor piezoelectric - buclă inductivă-senzor piezoelectric [158], cum se arată în figura 4.1.

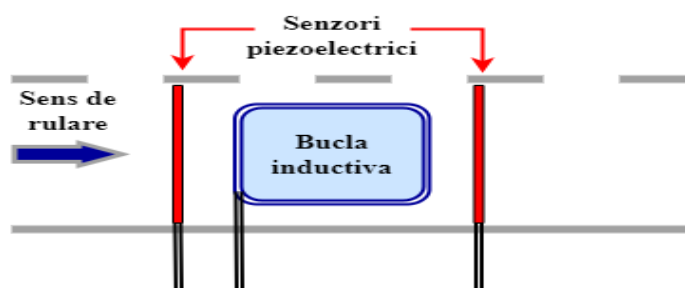


Fig.4.1. Unul din modurile de amplasare al senzorilor (recomandat de producător)

Studiul publicat de Samer Rajab et al. [20], care aprofundează un studiu comandat în Statele Unite de Oklahoma Transportation Center [21], în care se verifica posibilitatea ca măsurătorile să fie făcute folosind un singur senzor piezoelectric flexibil, instalat în diagonala căii de rulare, la un unghi de 45 de grade (au fost făcute teste la 45 și 38 de grade), așa cum se arată în figura 4.2.

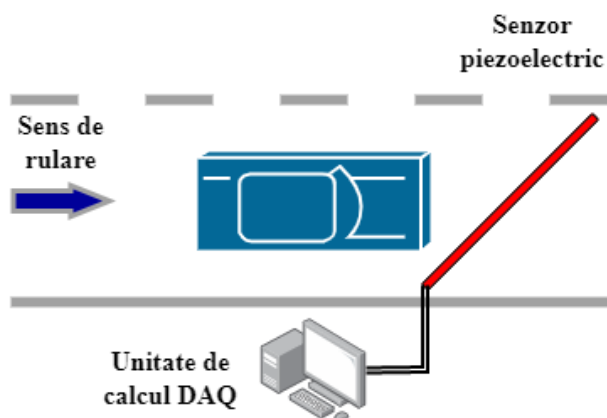


Fig. 4.2. Sistem de măsurare cu un singur senzor piezoelectric flexibil (în diagonal)

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ

Un alt studiu, făcut de Taek M. Kwon [6] la comanda “Minnesota Department of Transportation Research,”, analizează posibilitatea realizării unui sistem portabil de cântărire-în-mișcare (WIM). Sensorii aleși sunt de același tip “Roadtrax BL”, ca în studiul nostru.

4.2. Configurația experimentală

Menționam anterior că vom alege o configurație a echipamentului cu doi senzori piezoelectrice. Această configurație ne oferă două avantaje importante:

1. măsurătorile au o precizie mare, dată în special de componenta hardware (unitatea de procesare) și software (algoritmii de calcul ai valorilor de trafic ale echipamentelor);
2. energia produsă de senzori este dublă.

4.3 Descrierea componentelor

Cei doi senzori folosiți în studiul nostru, au lungimea de 6 ft. (aproximativ 1,83 m. Datele tehnice, puse la dispoziție de către producătorul lor [159], sunt prezentate în tabelul 4.2

Tabelul 4.2. Datele tehnice ale senzorului de trafic.

<u>Senzorul piezoelectric</u>	<u>BL Traffic</u>
<u>Lungimea senzorului</u>	6 ft.
<u>Lungimea cablului de conectare</u>	150 ft.
<u>Capacitatea</u>	8.31 nF
<u>Disipația</u>	0.0087
<u>Sensibilitatea medie</u>	55 pC/N

Procesul se repetă, în funcție de primirea în continuare de impulsuri de la senzorul piezoelectric. În acest fel se acumulează în C6 o cantitate de energie suficientă pentru alimentarea unor circuite electronice din gama de consum foarte scăzut (ultra-low).

În figura 4.11 sunt evidențiate etapele programării:

- a) Circuitul demonstrativ 1459B-A,
- b) Platforma de programare, configurată conform procedurii de programare rapidă [24];

METODE MODERNE DE MONITORIZARE ȘI INTERVENȚIE ÎN ACTIVITATEA DE MENTENANȚĂ



a)

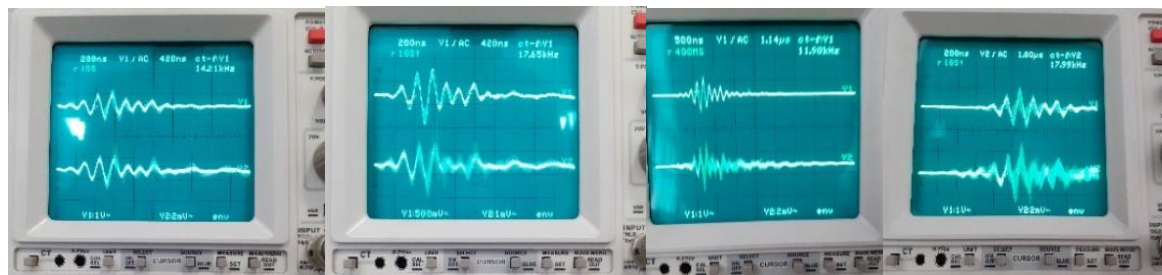
b)

Fig.4.11. Programarea modulului de management al puterii

4.4 Măsurători ale parametrilor energetici în laborator

Având la dispoziție echipamentul Cooper Wheel Tracker [157], au fost realizate în laborator măsurători cu osciloscopul HAMEG HM507 [10], ale amplitudinii impulsului la bornele senzorului având conectate la borne rezistențe de sarcină diferite.

Astfel s-a putut vizualiza pe spotul Y1 impulsul de tensiune la bornele senzorului conectând la bornele sale rezistențe de valori diferite. Am conectat la ieșirea senzorului, la prima măsurătoare făcută, o rezistență de sarcină cu valoarea de 10Ω , apoi de 200Ω , $625 \text{ K}\Omega$, iar în final de $900 \text{ K}\Omega$. Oscilogramele rezultate sunt prezentate în figura 4.15, a, b, c, d.



a)

b)

c)

d)

Fig.4.15. Impulsurile de tensiune (Y1), având conectată la bornele senzorului rezistențe de sarcină diferită (a. 10Ω , b. 200Ω , c. $625 \text{ K}\Omega$, d. $900 \text{ K}\Omega$)

4.5 Măsurători ale parametrilor energetici în situ

4.5.1. Efectuarea măsurătorilor

Măsurătorile în situ au fost făcute, într-o prima etapă, la Secția de Drumuri Naționale Călugăreni aflată în localitatea Călugăreni, județul Giurgiu pe DN 5 (București-Giurgiu), la km 28+140. Valorile impulsului de tensiune măsurate la bornele senzorului piezoelectric montat în calea de rulare, măsurate la trecerea unui autoturism, a unui autocamion și a unui tir cu 5 axe, sunt prezentate în oscilogramele figura 4.16, a), b) și c).

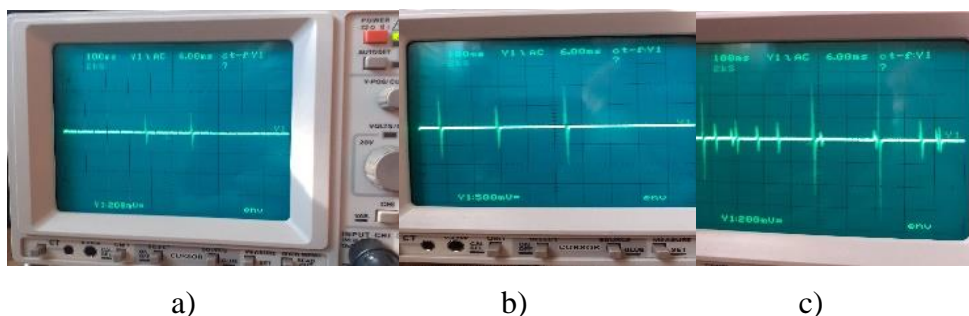


Fig. 4.16. Oscilogramele impulsului de tensiune la bornele senzorului piezoelectric
(a - autoturism, b – autocamion cu 3 axe, c – autocamion cu 5 axe)

4.5.2. Calculul amplitudinii maxime a impulsului de tensiune (U_m)

Din studiul acestor oscilograme observăm că, exceptând autoturismele cu 2 sau 3 axe, amplitudinea impulsurilor de tensiune obținute la trecerea pe deasupra senzorului a axei de direcție este mai mică decât amplitudinea obținută la trecerea celorlalte axe. Din acest motiv vom calcula amplitudinea maximă a impulsurilor de tensiune ținând cont de numărul de axe ale autovehiculului, rezultându-ne o valoare medie maximă a impulsului de tensiune pe toate axele autovehiculului, pe care o vom denumi “amplitudine maximă”, a cărei mărime o vom măsura în continuare:

- 1) Autoturisme (Clasa 2), având o amplitudine maximă a impulsului de tensiune rezultat de 600mV (spotul Y1), conform măsurătorii prezentate în oscilograma din figura 4.20.

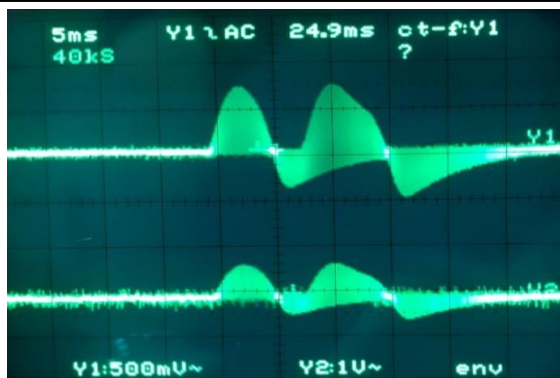


Fig. 4.20. Oscilogramă autoturism

4.5.3. Calculul numărului de impulsuri la bornele sensorului timp de 24 de ore

În continuare, vom calcula numărul de impulsuri generat de senzorul piezoelectric în decurs de 24 de ore, ținând cont de categoriile definite anterior.

- 1) Numărul total de impulsuri având amplitudinea de 0,6V, generate de autoturisme (Clasa 2), în decurs de 24 de ore va fi calculat după formula:

$$\text{Nr.tot.x} = \text{Nr.cls.2} * 2 \quad (1)$$

Unde:

- Nr.cls.2 este numărul total de autoturisme (2 axe);
- Nr.tot.x este numărul total de impulsuri cu amplitudinea de 0,6 V generat de senzor în decurs de 24 de ore;

$$\text{Rezultatul final este: Nr.tot.x} = 17,561 * 2 = 35.122;$$

În concluzie, în decursul a 24 de ore vom obține la bornele sensorului 35.122 de impulsuri cu amplitudinea de 0,6V.

4.5.4. Calculul perioadei impulsurilor

Din analiza oscilogramelor ridicate in situ și prezentate în subcapitolul 4.5.2. “Calculul amplitudinii maxime a impulsului” amplitudinea maximă a impulsului de tensiune măsurat la bornele sensorului, iar în subcapitolul 4.5.3. “Calculul numărului de impulsuri obținute în 24 de ore” numărul de impulsuri. Pentru a calcula puterea trebuie să cunoaștem și perioada impulsului.

4.5.4.1 Vectorizarea formelor de undă

Etașa următoare a fost vectorizarea impulsurilor măsurate folosind software-ul ArcMap [153], care este una din aplicațiile platformei software ArcGis [154] destinată procesării geospațiale a imaginilor.

Software-ul ArcMap permite realizarea de analiză spațială, implicit de vectorizare a unor imagini salvate în format de compresie JPEG [155], așa cum erau salvate imaginile cu oscilogramele impulsurilor măsurate „in situ” la sistemul de clasificare a traficului instalat în calea de rulare la Districtul Sinești, aflat pe DN 2 la km 30+200.

Pentru oscilograma corespunzătoare semnalului măsurat la bornele senzorului la trecerea unui autoturism, rezultatul vectorizării oscilogramei este prezentat în figura 4.29.

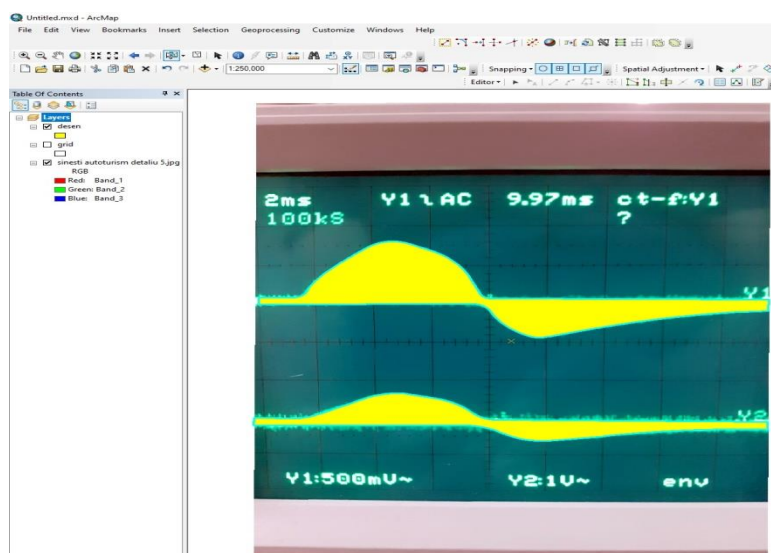


Fig. 4.29. Oscilogramă vectorizată autoturism

4.5.5. Calculul puterii impulsului

Tensiunea instantanee (u), se calculează folosind formula:

$$u = U_m \cdot \sin \omega t; \quad [V] \quad (6)$$

Unde U_m este valoarea maximă a impulsului de tensiune, ω este pulsația și t este timpul. ω se calculează folosind formula:

$$\omega = 2\pi/T; \quad [\text{rad/s}] \quad (7)$$

Unde T este perioada unui impuls.

Folosind legea lui Ohm pentru curent alternativ [43], avem formula de calcul a curentului instantaneu (i):

$$i = U_m/R \cdot \sin \omega t; [A] \quad (8)$$

Unde R este valoarea rezistenței de sarcină, în cazul nostru $R = 100 \Omega$.

Cunoscând tensiunea instantanee și curentul instantaneu, putem calcula puterea instantanee (p), folosind formula [151]:

$$p = u \cdot i; [VA] \quad (9)$$

4.6. Concluzii

Evaluând toate aceste date rezultate din cercetare, ținând cont de condițiile cele mai defavorabile pe care le-am definit pentru optimizarea măsurătorilor în subcapitolul 4.5.1. rezultă că senzorii piezoelectrice de măsurare a traficului produc o cantitate suficient de mare de energie electrică care, gestionată de un modul de “Power management” precum cel prezentat în subcapitolul 4.3. figura 4.10. și înmagazinată într-un supercondensator sau un acumulator poate asigura alimentarea cu energie electrică a unui subsistem format dintr-un modul de eșantionare (în vederea procesării impulsurilor generate de senzori), un modul de procesare a datelor obținute și un modul de radiocomunicații, așa cum este configurat echipamentul propus în acest studiu de cercetare în capitolul 4.2.

CAPITOLUL 5

CONTRIBUȚII PRIVIND PROIECTAREA UNUI ECHIPAMENT PENTRU MENTENANȚA STRATULUI DE UZURĂ AL DRUMURILOR, FOLOSIND PROCEDURELE TEHNOLOGICE DE INJECTARE (TORCRETARE)

În prezent există o mare problemă în gestionarea rațională a căilor rutiere, a asigurării desfășurării traficului în siguranță și a conservării în parametri proiectați a patrimoniului rutier, ca urmare a creșterii volumului transportului de mărfuri și implicit al greutateii transportate pe drumurile publice. Pentru a diminua blocajele care conduc la pierderi materiale și o poluare excesivă, datorată în special motoarelor care funcționează cu combustibili fosili, administrațiile naționale care gestionează căile rutiere trebuie să se bazeze permanent pe un audit performant, în vederea actualizării necesarului de mentenanță. De aceea sunt implementate sisteme optimizate de management a administrării drumurilor, având două componente principale [177]:

1. PMS (Pavement Management System);
2. BMS (Bridge Management System);

5.1. Mentenanța corectivă a căilor rutiere

Pentru a menține în stare normală de funcționare căile rutiere, este nevoie de o cunoaștere a stării acestora și de intervenții corective care să urmărească următoarele elemente:

- la apariția defectelor în stratul de uzură, realizarea în perioade scurte de timp a lucrărilor de mentenanță;
- lucrările de mentenanță corectivă să fie realizate calitativ conform normativului AND 605-2016 [11], ținând cont de valorile temperaturilor exterioare și anotimp;
- să fie respectate standardele tehnice în vigoare;
- tehnologia aplicată în cazul mentenanței corective să fie cât mai prietenoasă cu mediul.

5.2. Descrierea tehnologiei de reparare a stratului de uzură din calea de rulare prin torcretare

Pentru intervenții, în cazul reparațiilor la calea de rulare realizate conform normativului tehnic AND 605/2016 [10], în prezent se folosesc o serie de tehnologii cu randament scăzut și costuri ridicate. În cadrul lucrărilor de reparații se folosește mixtura asfaltică, care trebuie să îndeplinească condițiile de calitate în conformitate cu normativul tehnic SR EN 13108-1/2016 [16], având la baza clasa tehnică și condițiile climatice.

În construcțiile civile la consolidările clădirilor sunt folosite operații de cămășuire ale zidurilor afectate de factorii meteorologici, de trecerea timpului sau datorită unor efectuări lucrări de consolidare sau de reabilitare a elementelor componente ale unor structuri de beton armat sau zidărie [173].

În acest domeniu, acoperirea cu material nou, refacerea structurii afectate este denumită “operațiune de torcretare”, aceasta presupunând acoperirea suprafețelor ce fac obiectul lucrărilor, cu material nou, operațiune mecanizată ce presupune că cimentul se amestecă cu apa și materialele aditive, fiind transportat la duza de pulverizare cu ajutorul unei pompe de mortar. Apoi, amestecul este pulverizat cu ajutorul aerului comprimat, rezultând aplicarea unui flux de beton sub presiune [172], figura 5.4.



Fig. 5.4. Procedul de torcretare folosit la consolidarea unei structuri de sprijin

5.2.1. Proiectarea unui echipament pentru remedierea defectelor din calea de rulare prin colmatare, folosind procedeul de torcretare

Pentru conceperea unui echipament complex care să poată fi folosit la repararea îmbrăcămintei asfaltice în situ, am pornit de la realizarea unei similitudini cu echipamentele folosite în torcretarea betonului, dar cu modificările necesare pentru aplicarea prin injecție a mixturii asfaltice.

O schema bloc a acestui echipament este prezentată în figura 5.5. Acesta va fi dotat cu sisteme de citire a temperaturii suprafeței reparate, a înălțimii stratului depus, a rugozității suprafeței rezultate în urma intervenției. Echipamentul poate fi autopropulsat sau tras de un cap tractor care conduce echipamentul.

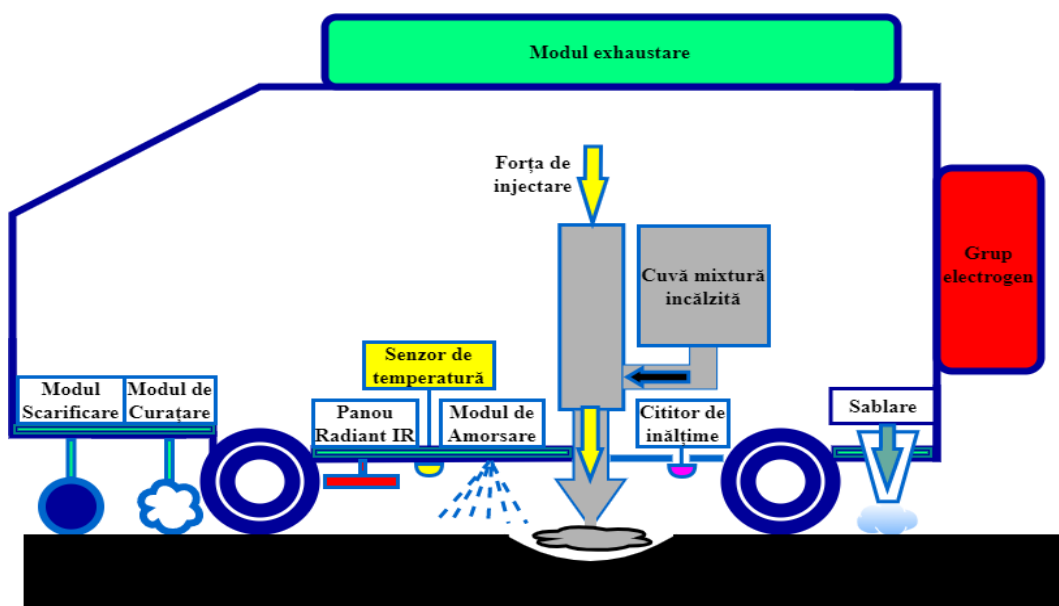


Fig.5.5. Proiect echipament de reparare suprafețe prin injecție

5.2.2. Conceperea echipamentului experimental

În laboratorul CNAIR - CESTRIN S.A. am studiat posibilitățile de lucru, plecând de la principiul care stă la baza tehnologiei de torcretare și am realizat prototipul unui echipament experimental și al schemei cinematice figura 5.6.

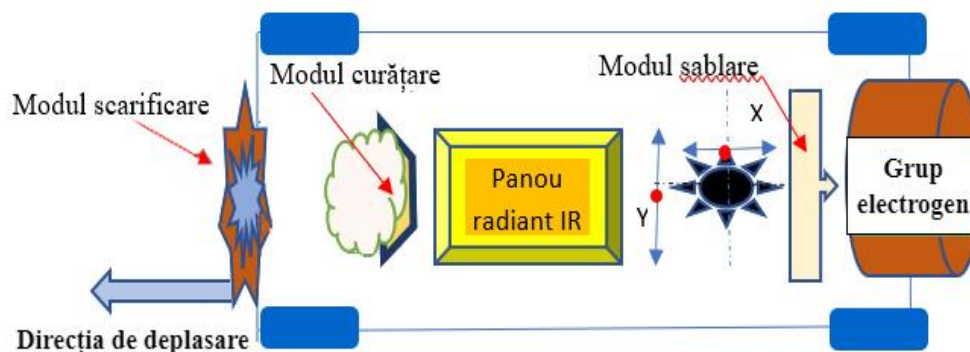


Fig.5.6. Schema cinematică a prototipului de echipament

Materialul folosit pentru acoperirea găurilor este o compoziție livrată în sac de polietilenă, reprezentând soluție de asfaltare (reparații) pentru anotimp rece, cu granulație medie, figura 5.8.



Fig. 5.8. Material pentru reparație cu granulație medie

5.4. Rezultatele experimentale și interpretarea datelor

Schema de bază a sistemului de injectare este simplificată în figura 5.10. În experiment au fost mărite forțele de injectare pentru a putea materializa influența lor asupra legăturii cu suprafața de bază. Pentru o legătură mai puternică a materialului depus cu cel de bază a fost montat și un panou cu radiații IR.

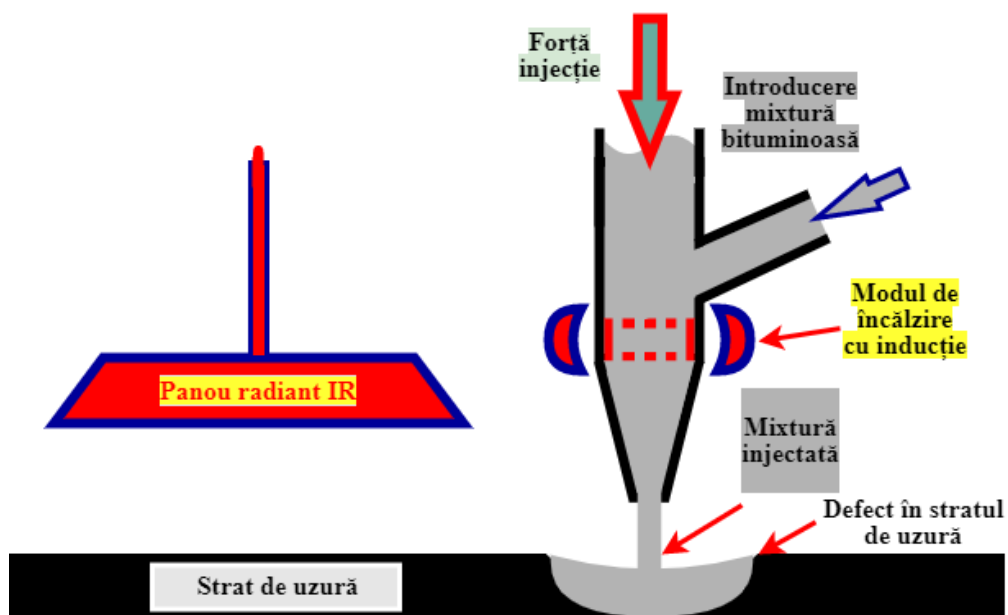


Fig.5.10. Sistemul de injecție a mixturii asfaltice

Au fost măsurate, în laboratorul CNAIR – CESTRIN, laborator acreditat RENAR [170], trei caracteristici ale stratului de mixtură asfaltică depusă, comparativ cu mixtura asfaltică a carotei pe care s-a făcut testarea:

1. Determinarea punctului de înmuiere prin metoda cu inel și bilă, conform standardului SR EN 1427:2015 [169];

Această încercare a fost făcută utilizând echipamentul Automatic Ring and Ball Tester, prezentat în figura 5.11.



Fig. 5.11. Echipamentul Automatic Ring and Ball Tester

5.5. Concluzii

Cercetarea experimentală făcută în laboratorul CESTRIN deschide drumul implementării unei tehnologii diferite de cele existente, cea a injectării de mixtură asfaltică la cald, cu rezultate foarte bune privind caracteristicile colmatării rezultate, atât din punct de vedere al aderenței materialului depus cu materialul de bază, cât și al uniformității în plan vertical al reparației finale.

Implementarea acestei tehnologii poate determina proiectarea și în final realizarea echipamentului conceput pentru a fi folosit la repararea îmbrăcămintei asfaltice în situ. Eliminarea frezărilor stratului de uzură, care comportă costuri ridicate și deteriorarea căii de rulare, implicit a autovehiculelor, până la momentul reparațiilor finale ale stratului de uzură, este un inconvenient reclamat des de utilizatorii drumurilor publice.

CAPITOLUL 6

CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

6.1. Concluzii generale

Aprofundând domeniile de cercetare ce fac obiectul acestei teze de doctorat am conștientizat importanța activității de mentenanța în ansamblu, dar mai ales importanța eficientizării ei. Metodele noi, care sunt rezultatul evoluției tehnologiilor strâns legate de Internetul Lucrurilor (IoT), au adus în bagajul managementului acestei activități noi posibilități, noi tehnologii hardware și aplicații software care oferă posibilități de neimaginat până acum puțin timp.

Aceste noi posibilități nu sunt legate doar de creșterea puterii de calcul, implicit a vitezei de analiză a variabilelor rezultate din activitatea desfășurată într-o unitate de producție ci și a multor alte domenii de activitate conexe, cum este și mentenanța echipamentelor ce compun liniile de producție.

Având în vedere că teză de doctorat este strâns legată de domeniul meu de activitate profesională, am abordat și realizat pe capitolele, obiectivele principale legate de domeniul mentenanței drumurilor, astfel :

- studierea și demonstrarea posibilității autonomizării unui echipament de monitorizare inteligentă a traficului rutier;

- cercetarea unui nou procedeu de mentenanță corectivă a stratului de uzură al căii de rulare.

De asemenea, am abordat și realizat și obiectivele specifice, respectiv:

- analiza senzorilor piezoelectrice în vederea autonomizării;
- conceperea unui modul autonom pentru monitorizarea evoluției sistemului;
- configurarea experimentală și măsurări in situ;
- calculul energiei furnizate de senzorul piezoelectric prin vectorizarea oscilogramelor;
- demonstrarea ipotezei de autonomizare a unui echipament de monitorizare a evoluției sistemului;
- analiza mentenanței corective a căilor rutiere;
- formularea ipotezei de aplicare a tehnologiei de reparare a stratului de uzură din calea de rulare prin torcretare;
- proiectarea unui echipament pentru remedierea defectelor din calea de rulare folosind procedeul de torcretare;
- conceperea echipamentului experimental;
- cercetări de laborator privind implementarea noului procedeu și analizarea rezultatelor obținute.

6.2. Contribuții personale

Pe parcursul elaborării tezei de doctorat am avut posibilitatea ca să aduc mai multe contribuții personale, originale, atât teoretice, cât și experimentale, celor două direcții de cercetare abordate, pe care le voi detalia în continuare:

Prima direcție de cercetare - ideea autonomizării energetice a unui echipament de monitorizare a traficului, dar mai ales studiul pe care l-am făcut după aceea, detaliat în capitolul 4, mi-a dat posibilitatea să dezvolt, deocamdată sub forma unei cercetări parțial practice, posibilitatea folosirii unor tehnologii consacrate - senzorii piezoelectrice, împreună cu o tehnologie nouă - circuitele integrate de ultima generație, pentru a ajunge la proiectarea și ulterior producerea unor echipamente ultramoderne de măsură

A doua direcție de cercetare, detaliată în capitolul 5, având ca scop final conceperea unui echipament complex de reparații la calea de rulare, mi-a dat posibilitatea să studiez posibilitatea executării operațiunii tehnologice de colmatare a defectelor din stratul de uzură al căii de rulare, folosind tehnologia de injecție (torcretare) a mixturii bituminoase la cald și de măsurare a parametrilor importanți rezultați.

a) Contribuții teoretice

Realizarea schemei bloc a unui echipament tehnologic de injectare la cald a mixturii asfaltice și estimarea comportamentului materialelor utilizate în condițiile de funcționare conforme destinației finale a echipamentului.

Conceperea echipamentului complex de mentenanță a căii de rulare, având în componența sa mai multe utilaje moderne de lucru asupra stratului de uzură grupate într-un lanț de operațiuni tehnologice înainte și după echipamentul inovativ de injecție (torcretare) la cald a mixturii asfaltice. Evidențierea lanțurilor cinematice în schema cinematică a echipamentului conceput.

b) Contribuții experimentale

Am construit un echipament compus dintr-un recipient încălzit pentru mixtură asfaltică, o pompa acționată hidraulic și un ajutor încălzit. Am făcut, într-o carotă din bitum patru adâncituri pentru a simula găurile apărute în statul de uzură, am injectat mixtură bituminoasă folosită pentru reparații la cald ale stratului de uzură și ulterior, după răcire, am tăiat în secțiune carota pentru a studia zona în care s-a făcut reparația.

Rezultatul final al acestei operațiuni a fost analizat în cadrul laboratorului CESTRIN, rezultatele obținute fiind foarte bune. Aspectul colmatării s-a constatat că este uniform, fără discontinuități în zona de aderență între straturi, deși nu s-a folosit emulsie bituminoasă pentru îmbunătățirea aderenței între stratul de uzură și stratul suport. S-au făcut trei testări în laborator, ale punctului de înmuiere, determinarea penetrației cu ac la 25 de grade Celsius și determinarea revenirii elastice la 25 de grade Celsius. Rezultatele obținute, după răcire, au fost foarte bune, valorile finale fiind foarte apropiate de valorile inițiale.

6.3. Direcții ulterioare de cercetare

- 1) Doresc, continuarea cercetării în direcția finalizării proiectării, executării și testării, atât în laborator cât și în situ, a subsistemului de preluare, prelucrare și transmitere a datelor rezultate din măsurători descris în capitolul 4 având ca finalitate producerea unui echipament senzoric autonom de măsurare a traficului ce va putea fi instalat pe un drum național, verificat în condiții de trafic, compatibilizat cu sistemele existente, perfecționat și care să fie punctul de pornire al dezvoltării unui sistem modern de monitorizare a traficului, gestionat ca un nod de rețele wireless autonom.

- 2) Totodată doresc dezvoltarea programului informatic care odată instalat în unitatea de procesare, să realizeze prelucrarea datelor de trafic provenite de la senzorii ce compun sistemul de măsurare propus în această teză și compatibilizarea acestuia cu sistemele existente.
- 1) Continuarea cercetării în direcția finalizării proiectării echipamentului complex de reparare a stratului de uzură din calea de rulare, estimarea consumului de energie pentru dimensionarea corectă a grupului electric, a consumurilor de materiale folosite pentru reparații, mixtură asfaltică, nisip, pentru dimensionarea rezervoarelor de stocare a acestora. Evaluarea cantității de căldură degajată de utilajele componente și studierea posibilității folosirii acestuia în cadrul proceselor tehnologice ce urmează să fie executate, înainte de exhaustare.

6.4. Valorificarea rezultatelor cercetării

Cercetarea făcută privind autonomizarea energetică a senzorilor piezoelectrice, cu aplicare în domeniul mentenanței predictive a fost valorificată astfel. Pe parcursul perioadei de pregătire, au fost realizate și susținute, în cadrul Scolii Doctorale de Inginerie și Managementul Sistemelor Tehnologice un număr de 5 rapoarte științifice, în legătură cu stadiul actual al cercetărilor în acest domeniu, analiza senzorilor piezoelectrice din puncte de vedere teoretic și experimental. Cercetarea experimentală a fost făcută în laboratoarele din cadrul CESTRIN și Universitatea Politehnica București.

Articole publicate în reviste de specialitate:

1. **S.Ioniță**, C.Hagiescu, S.Velicu, I.Paunescu - *Measurement of the micro-asperities of the asphalt carpet flat surface by means of virtual*. International Journal of Modeling and Optimization, vol.9, nr.5, October 2019.
2. **S.Ioniță**, C. Hagiescu, B. Iovu, S.Velicu, P.Paunescu - *Measuring the weight of a vehicle by monitoring the dynamic torque of a heat engine*. Research and development in field of vehicles and transport, 05-07 septembrie 2019, IRMES 9th International Scientific Conference, Kragujevac, pp. 246;
3. **C. Hagiescu**, S.Velicu - *Autonomous equipment for monitoring the critical structures applied in the field of road traffic*, iulie 2022, Constanța - România, (The 5-th edition of SLS and the 17-th edition of OPTIROB 2022).
4. **C. Hagiescu**, M.Hagiescu, C.Păunescu, R.A.Sandu - *Innovative use torccreting (guniting) for repairing wearing surface of roads*, Crimson Publishers - ACET (Advancement in civil engineering & technology), iulie 2022, New York, SUA
5. **C. Hagiescu**, M.Hagiescu, C.Păunescu - *Maintenance of the wear layer using the technological procedure of injections (Shotcreting)*, iulie 2022, Constanța - România (The 5-th edition of SLS

and the 17-th edition of OPTIROB 2022).

6. **C. Hagiescu**, Plan de afacere - *Servicii de reparații, dezvoltare de produse și execuție de lucrări în domeniul radiocomunicațiilor*, Program Operațional Capital Uman, Axa prioritară 6, Burse pentru educație antreprenorială în rândul doctoranzilor și cercetătorilor post doctorat, cod MySMIS 124539, *Bucuresti UPB 2021*,
7. **C. Hagiescu, S.Velicu** - *Mentenanță sau modernizare, o problemă azi?*, lucrare în curs de publicare în Buletinul UPB.

Bibliografie selectivă

- [1] V. Deac et al., “The Modern Approach to Industrial Maintenance Management”, *Informatica economica* vol. 14, no. 2/2010.
- [6] Mohammad H Hasan et al. “Colocalized Sensing and Intelligent Computing în Micro-Sensors”, *Sensors* 2020, 20, 6346.
- [12] Yahya Mohammed Al-Naggar et al., “Condition monitoring based on IoT for predictive maintenance of CNC machines”, 18th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, 2021 The Authors. Published by Elsevier B.V.
- [18] I. Malita - *Tehnologia lucrărilor de drumuri*, Ed. Mirton, 2007;
- [19] **C. Hagiescu**, M. St. Hagiescu, C. Păunescu, Maintenance of the wear layer using the technological procedure of injection (shotcreting), OPTIROB 2022, iunie , Tismana Jupiter, Constanța;
- [20] Samer Rajab*, Mohamad O. Al Kalaa and Hazem Refai. Classification and speed estimation of vehicles via tire detection using single-element piezoelectric sensor. *J. Adv. Transp.* 2016; 50:1366–1385.
- [29] I. Malita - *Tehnologia lucrărilor de drumuri*, Ed. Mirton, 2007;
- [33] **C. Hagiescu**, M. St. Hagiescu, C. Păunescu, Maintenance of the wear layer using the technological procedure of injection (shotcreting), OPTIROB 2022, iunie, Tismana-Jupiter, Constanța;
- [42] DS10090_STM32L063x8.book. STM32L063C8 STM32L063R8, Ultra-low-power 32-bit MCU Arm®-based Cortex®-M0+, 64KB Flash, 8KB SRAM, 2KB EEPROM, LCD, USB, ADC, DAC, AES.
- [85] GPR monitoring for road transport infrastructure: A systematic review and machine learning insights. Mezgeen Rasol et al. *Construction and Building Materials* Volume 324, 21 March 2022, 126686.
- [148] Gheorghe Ion GHEORGHE, Drd. ing. Iulian ILIE, Drd. ing. Constantin ANGHEL, Drd. ing. Valentin GORNOAVĂ, Drd. ing. Adrian VOICU - *Sisteme inteligente adaptronice pentru monitorizarea și configurarea la distanță a procesărilor și proceselor de control integrat*. Buletinul AGIR, Supliment 3/2015.
- [153] ArcMap. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>
- [154] ArcGis. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-platform/overview>
- [158] <https://www.te.com/usa-en/plp/traffic-sensors/>. Measurement Specialities. BL Traffic Sensor. Data sheet.